

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ

**Сарапулов Ф.Н.¹, Бегалов В.А.¹, Миронов С.Е.¹,
Фаткуллин С.М.²**

*¹ Екатеринбург, УрФУ имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина, ² Екатеринбург, ООО «РЭЛТЕК»*

В работе рассматривается нагрев цилиндрической стальной заготовки в индукционном нагревателе на основе детализированных схем замещения [1]. Модель реализована в пакете Mathcad и не требуют больших вычислительных ресурсов. С этих позиций она может успешно конкурировать с другими численными моделями, например [2], а также основанными на методе конечных элементов. Рассмотрен процесс нагрева заготовки диаметром 0.13 м, длиной индуктора 2 м и его внутренним диаметром 0.2 м. При построении детализированной (по радиусу и по оси) магнитной схемы замещения выделено 56 участков по длине (в соответствии с количеством витков в обмотке индуктора) и по 24 участка в левой и правой краевых зонах. По радиусу установки выделено 30 слоев, включая зону обратного замыкания магнитного потока за пределами индуктора. Принято, что каждый слой заготовки имеет одинаковую температуру по длине.

В таблице 1 приведены результаты расчета основных показателей нагревателя при наличии и отсутствии обратного магнитопровода, размещаемого с внешней стороны индуктора. Нагрев осуществлялся с температуры заготовки 760 °С. Сравнение показывает положительное влияние обратного магнитопровода.

Таблица

Вариант Параметр	Без обратного магнитопровода	С обратным магнитопроводом
Мощность полная, кВА	132 + j 890	176 + j 1086
Коэффициент мощности, о.е.	0.147	0.16
Потери мощности в индукторе, кВт	24	24
Активная мощность в загрузке, кВт	108	152
КПД нагревателя, о.е.	0.637	0.727
Плотность тока, А/мм ²	30	30

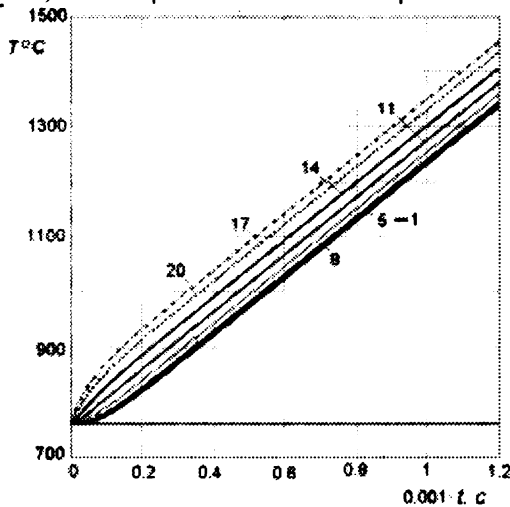


Рис. 1. Кривые нагрева слоев заготовки (счет номеров от центра)

На этапе нагрева заготовки в диапазоне температур до точки Кюри электромагнитная задача становится нелинейной, и зависимость магнитной проницаемости стального слоя от магнитной индукции и температуры задается выражением [3]

$$f_4(z) = 1 + (f_2(z) - 1) \cdot \left[1 - \left(\frac{T_i}{750} \right)^2 \right],$$

которое соответствует кривой намагничивания стали для $T_i = 20$ °C.

Следует отметить неравномерность нагрева слоев по глубине, что связано с неравномерностью распределения по слоям греющих потерь и различием в условиях охлаждения разных слоев.

В целом можно отметить, что метод детализированных схем замещения дает широкие возможности для анализа индукционного нагрева цилиндрических заготовок при достаточно высокой точности результатов.

Литература

1. Плавильные комплексы на основе индукционных тигельных печей и их математическое моделирование: Учебное пособие / В.И. Лузгин, С.Ф. Сарапулов, Ф.Н. Сарапулов, Б.А. Сокунов, Д.Н. Томашевский, В.Э. Фризен, И.В. Черных, В.В. Шипицын. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005г. 464 с.
2. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович – Л.: Энергоатомиздат, 1988 – 256 с.
3. Индукционный нагрев ферромагнитной стали / А.Б. Кувалдин. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с.